

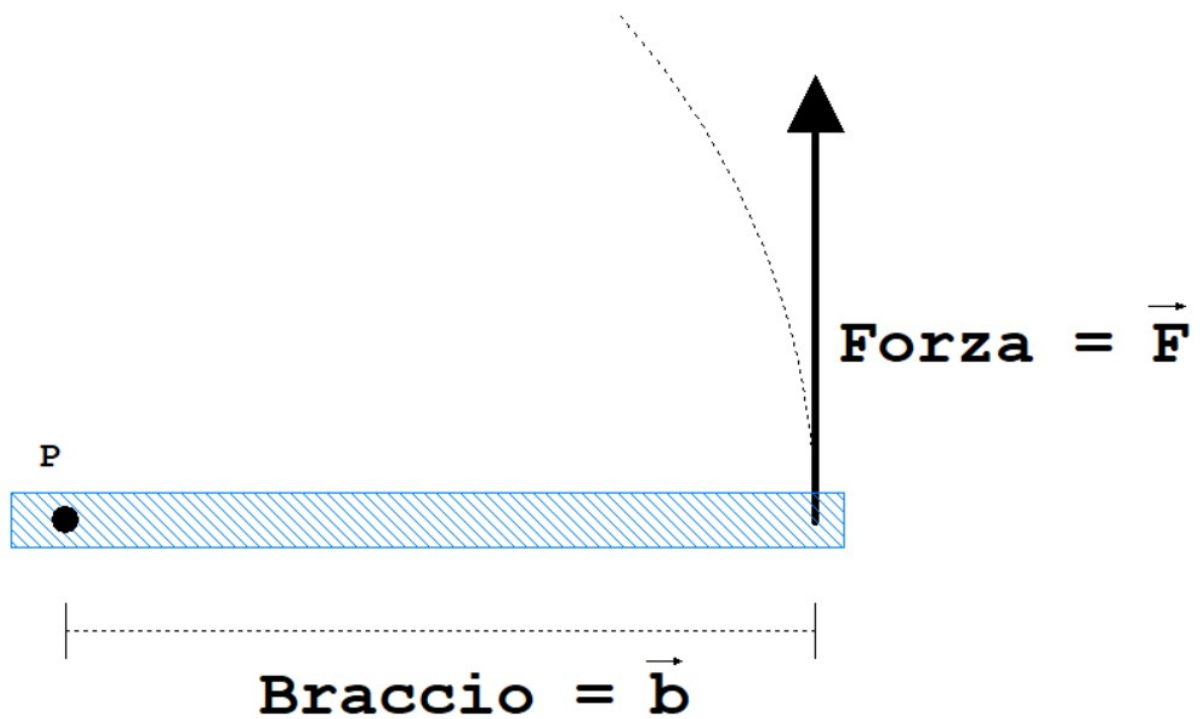
## COPPIA E POTENZA DI UN MOTORE, SCELTA DI UN MOTORE PASSO PASSO

*Per la scelta di un motore, occorre aver ben chiaro il concetto fisico di coppia e di potenza, cominciamo con una premessa sulle grandezze che interessano un moto rotatorio.*

### MOMENTO DI UNA FORZA

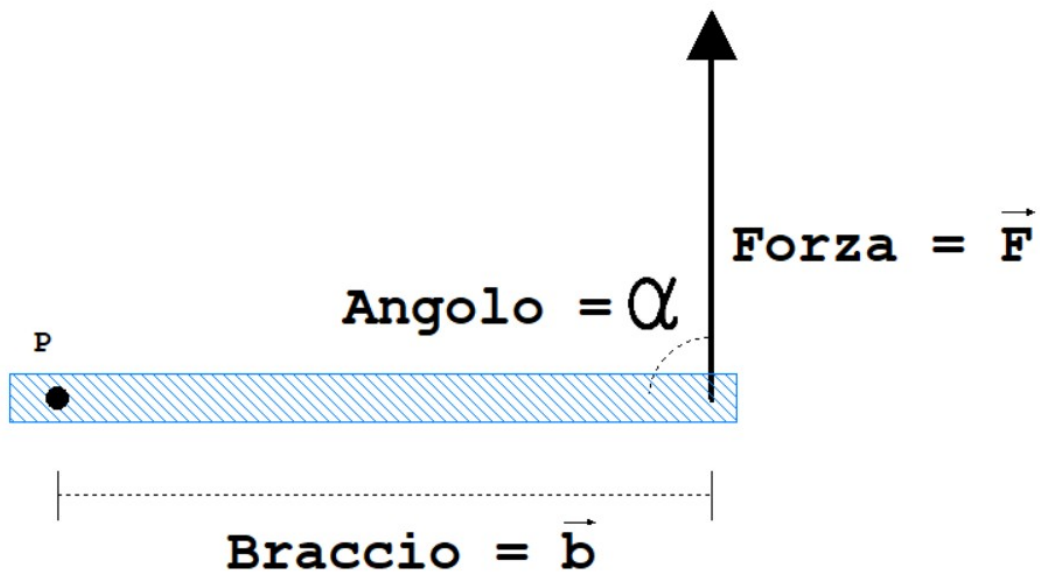
*Il momento di una forza esprime il moto di un corpo vincolato in un punto  $P$  soggetto all'azione di una forza  $F$  applicata ad una distanza  $b$  dal punto.*

*Essendo il corpo vincolato in un punto avremo un moto di tipo rotatorio e non traslatorio.*



Il Momento di una Forza applicata ad un corpo vincolato in un punto P, è dato dal prodotto vettoriale tra Forza e Braccio

$$\vec{M} = \vec{F} \times \vec{b}$$



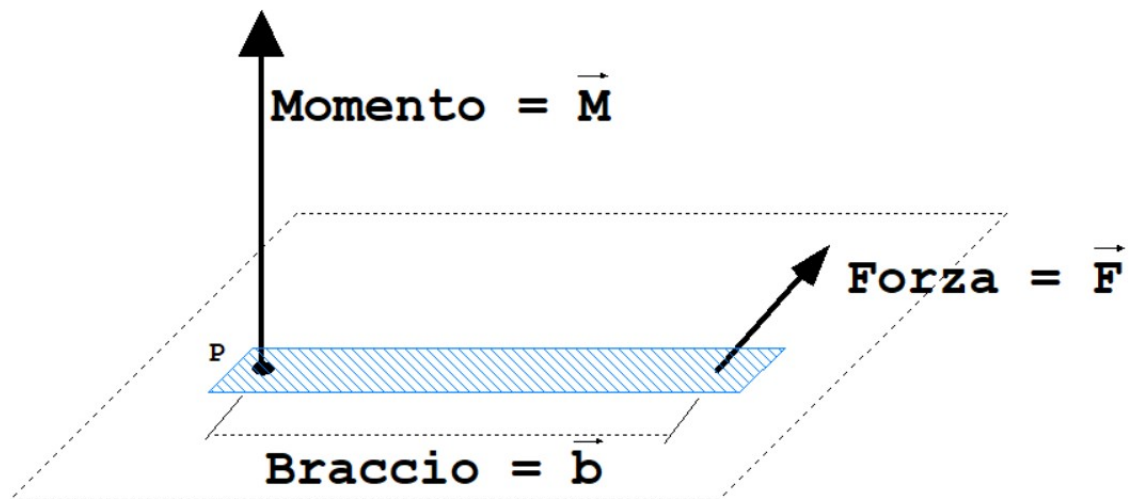
Il modulo del Momento è pari al prodotto vettoriale tra Forza e braccio.

$$M = F \times b \times \sin\alpha$$

$$M = F \times b \times \sin(90^\circ)$$

$$M = F \times b$$

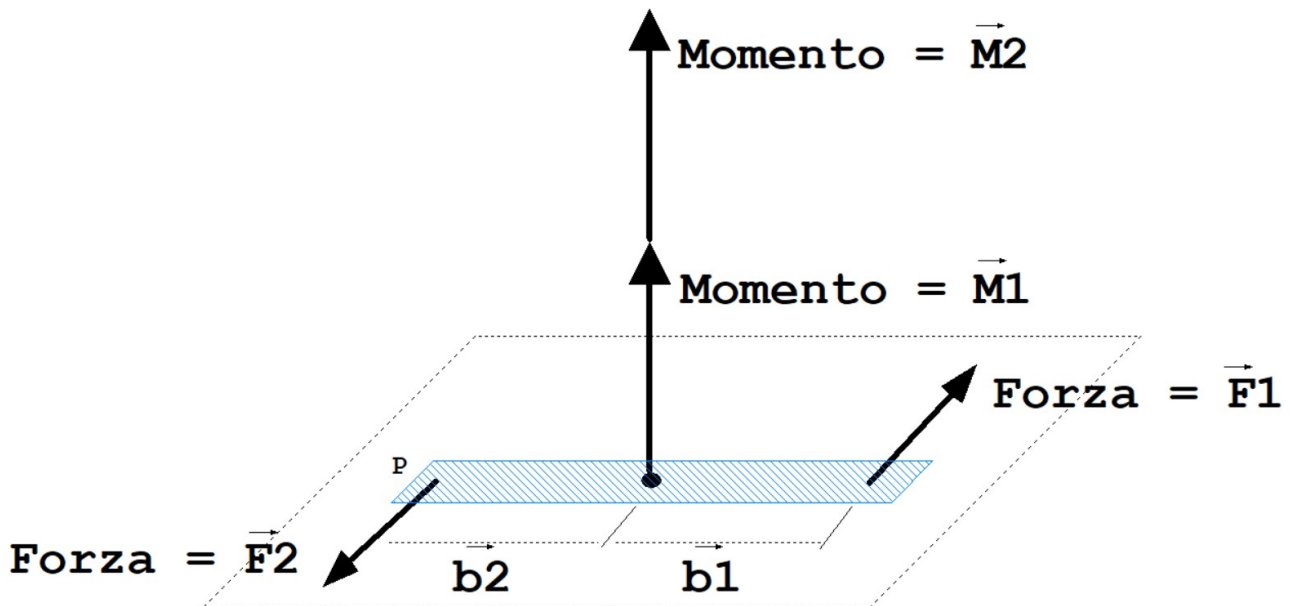
L'unità di misura è: [Nm]



Il Momento sarà rappresentato da un vettore ortogonale al piano su cui opera la forza, e la direzione è identificata dalla regola della mano destra. Nel caso in figura il Momento è un vettore uscente dal piano nel punto  $P$ .

## MOMENTO DI UNA COPPIA DI FORZE

Il momento di una coppia di forze che agiscono con lo stesso modulo ma con verso opposto su un corpo rigido vincolato in un punto  $P$ , è rappresentato dalla somma dei momenti delle singole forze.



Nel caso di un motore la coppia indicata nel datasheet, indica il momento della coppia di forze esercitata in ogni istante dal motore in rotazione.

Il modulo di ogni momento sarà dato dal prodotto della forza per il relativo braccio, ed avendo lo stesso verso il momento risultante sarà dato dalla somma dei due momenti.

$$M_1 = F_1 \times b_1 \quad M_2 = F_2 \times b_2$$

$$M = M_1 + M_2 = F_1 \times b_1 + F_2 \times b_2$$

Essendo le due forze di uguale modulo:

$$F_1 = F_2$$

avremo che:

$$M = F_1 \times b_1 + F_1 \times b_2 = F_1 \times (b_1 + b_2) = F_1 \times b$$

Dove con  $b$  indichiamo la distanza tra le due forze.

Perciò possiamo concludere dicendo che il momento di una coppia di forze è pari al valore del modulo della forza per la distanza tra le due.

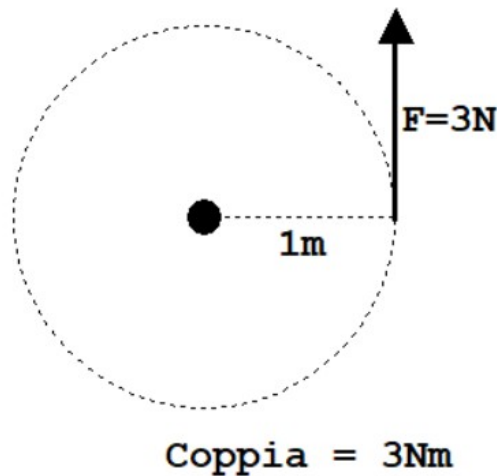
## COPPIA DI UN MOTORE

Nel caso dei motori la coppia è il momento esercitato dalle forze sulla trasmissione, e viene misurata opponendo una forza alla rotazione dell'albero.

**Pertanto quando si parla di coppia di un motore, dobbiamo considerare il valore del momento della singola forza esercitata.**

Ad esempio un motore che ha una coppia di 3Nm, può esercitare una forza tangenziale alla direzione di rotazione, di un Newton alla distanza di 1 metro.

La coppia si indica con la lettera **T** ed ovviamente si misura in [Nm].



---

## RELAZIONE TRA COPPIA E POTENZA DI UN MOTORE

A differenza della coppia la potenza di un motore tiene conto della velocità ottenuta nel movimento rotatorio instaurato dal momento della forza.

Più esattamente la potenza è pari al prodotto tra coppia e velocità angolare espressa in radianti al secondo.

Una piccola parentesi sulla velocità angolare.

La velocità angolare è il rapporto tra l'angolo compiuto durante il moto rotatorio ed il tempo impiegato.

L'angolo è misurato in radianti (1 giro= $2\pi$  radianti) ed il tempo in secondi, perciò la velocità angolare indicata con la lettera  $\omega$ , sarà espressa in radianti al secondo.

$$\omega = \frac{\text{angolo}}{\text{tempo}} \quad [\text{rad/s}]$$

Ad esempio un **giro al secondo** corrisponde alla velocità angolare di  **$2\pi$  rad/sec**

La potenza si indica con la lettera  $P$  e come detto precedentemente è il prodotto tra coppia e velocità angolare perciò:

$$P = T \times \omega \quad \text{l'unità di misura della potenza è il Watt}$$

Esprimendo la velocità angolare in radianti al secondo e la coppia in Newton al metro, avremo la potenza espressa in Watt.

Ad esempio per calcolare la potenza di un motore che alla velocità di 1500 RPM, esercita una coppia di 3 Nm, eseguo i seguenti passaggi:

- trasformo RPM in radianti al secondo, perciò 1500 RPM (giri al minuto) sono 1500/60 giri al secondo. Essendo ogni giro pari a  $2\pi$  radianti, avremo che:

$$1500 \text{ RPM} = \left(\frac{1500}{60}\right) \cdot 2 \cdot \pi = 157 \text{ rad/sec}$$

Pertanto dovendo trasformare RPM in rad/sec, basta dividere per 9,55.

- calcolo la potenza moltiplicando la coppia per la velocità ottenuta sopra:

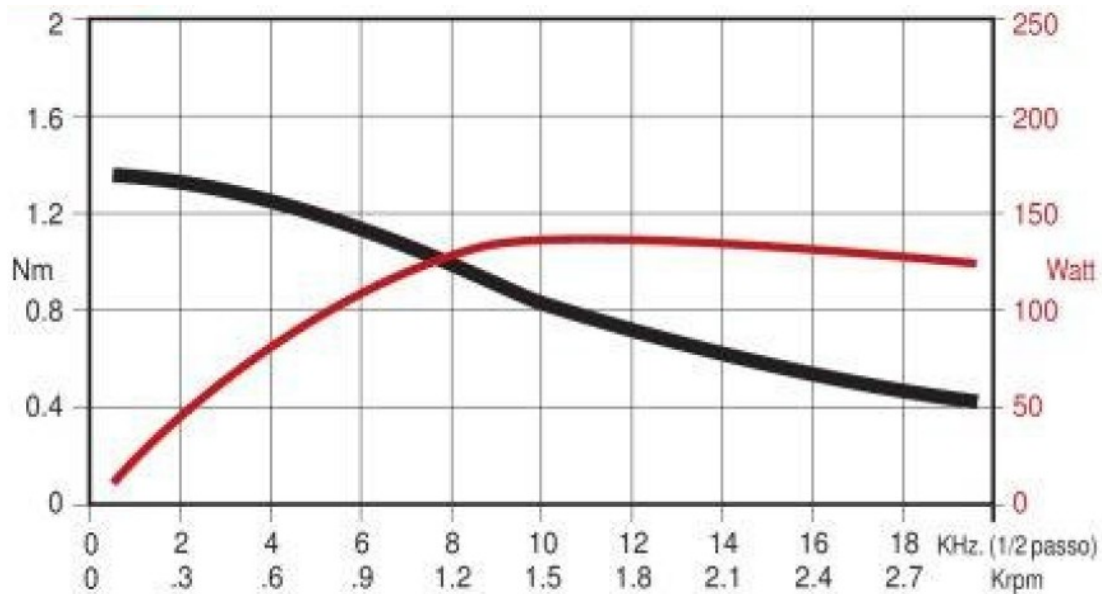
$$P = 3 \times 157 = 471 \text{ W}$$

In conclusione nella scelta del motore e della successiva riduzione occorre ricordare che:

**Le condizioni ottimali di lavoro di un motore sono quelle in cui la potenza ottenuta è massima, pertanto in base alla curva di coppia presente nel datasheet, occorre scegliere la velocità di lavoro e di conseguenza la successiva riduzione meccanica.**

---

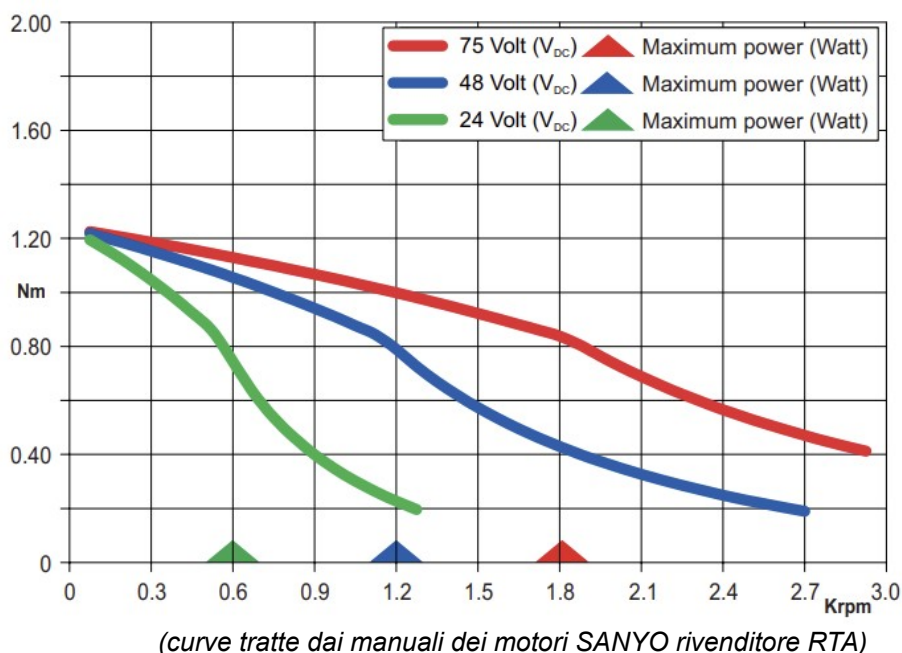
Ad esempio nel seguente grafico è riportata una curva di coppia di un motore passo-passo insieme alla sua potenza.



Nonostante a bassi giri la coppia sia più elevata, il punto ottimale di lavoro è quello che si ottiene in corrispondenza della velocità di 1,8Krpm, cioè 1800 giri al minuto.

In corrispondenza di quel punto il motore sviluppa una coppia pari a circa 0,7Nm, ma aggiungendo un riduttore 3:1 che riduce di un terzo la velocità avremmo una coppia pari al triplo del valore cioè 2,1Nm, che è superiore alla coppia che avremmo senza alcun riduttore ma con la stessa velocità.

Un'altra modalità di rappresentazione della curva di coppia è la seguente dove non viene indicata la curva della potenza ma viene indicato il punto di lavoro consigliato.



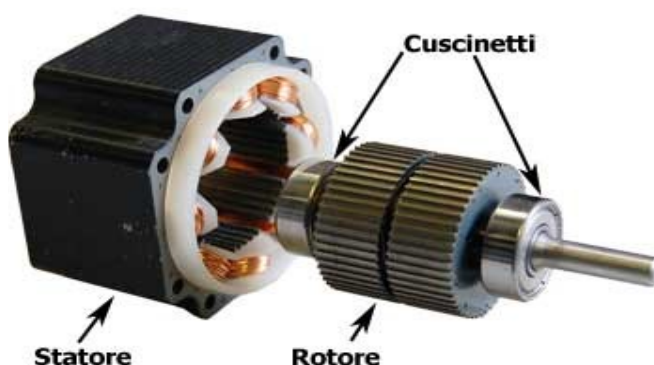
## SCELTA DELL'AZIONAMENTO

Ogni motore passo-passo va gestito con un azionamento elettrico che consiste in una scheda che in uscita alimenta secondo l'ordine prestabilito le fasi del motore, e ne consente il controllo con dei segnali digitali.

### **Una piccola parentesi sul funzionamento dei motori passo passo.**

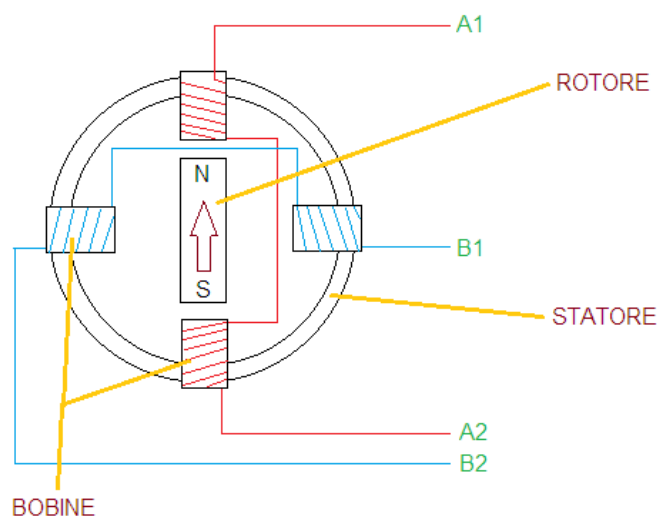
Un motore passo-passo è un particolare tipo di motore DC (corrente continua).

A differenza dei normali motori in DC, il motore passo-passo non ha spazzole. Internamente risulta composto da uno statore con degli avvolgimenti ed un rotore a magneti permanenti.

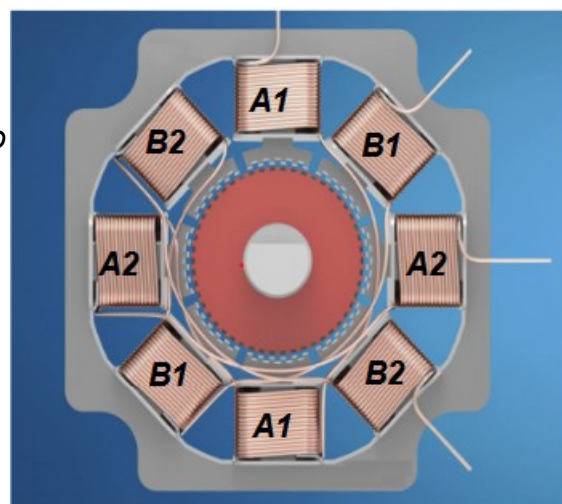


In figura è rappresentato uno schema di principio di un motore passo-passo a magneti permanenti.

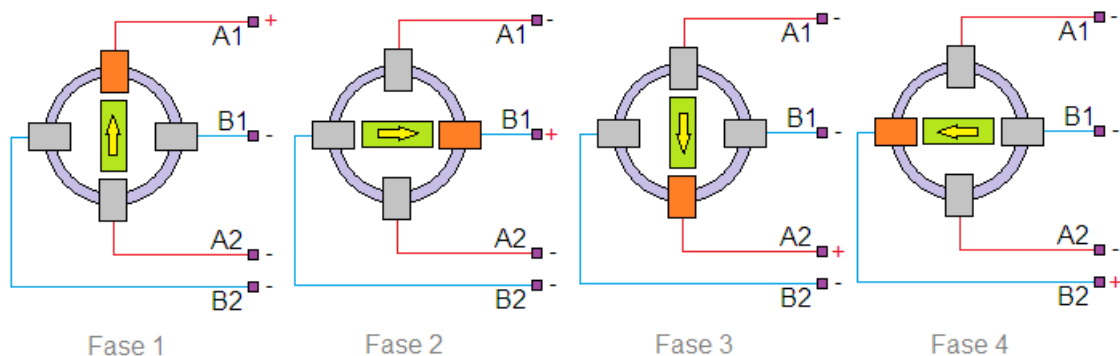
In realtà il più diffuso è il motore ibrido cioè un motore con 8 poli sullo statore, composti da 4 avvolgimenti chiamati A1, A2 e B1 e B2.



In questo caso alimentato in sequenza le fasi il motore esegue dei piccoli passi, in base allo sfasamento dei magneti permanenti sul rotore.



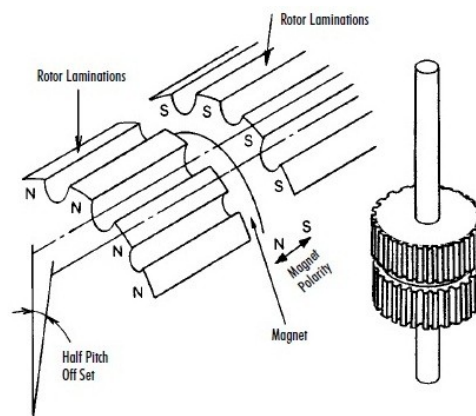
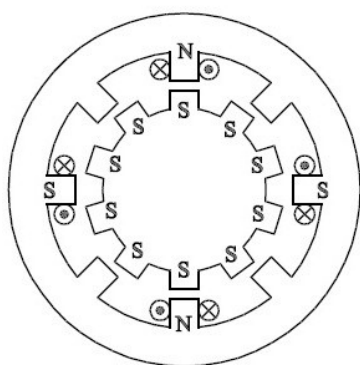
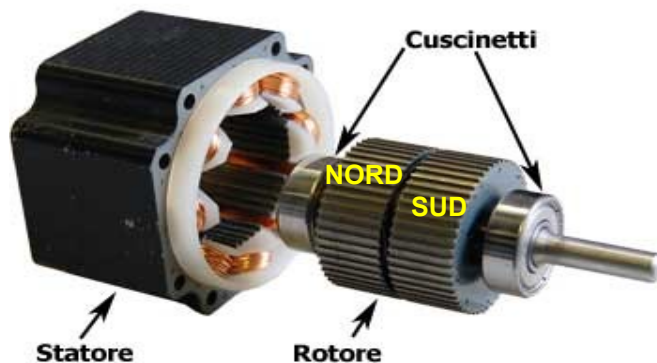
Per comprendere il funzionamento occorre ragionare in maniera semplice come se fossero solo 2 avvolgimenti nello statore.



Alimentando l'avvolgimento A con il positivo su A1 ed il negativo su A2 abbiamo il posizionamento del rotore come nella fase 1 della figura, alimentato di seguito B1 e B2 il rotore compie 90° di rotazione e così via.

### Motore Ibrido.

In questo caso il rotore è diviso in due parti con magneti di polarità opposta, in modo da garantire uno spostamento di 1,8° per ogni passo del motore.



In pratica lo spostamento di 1,8° deriva dall'effetto magnetico che si ottiene in maniera alternata sulle due parti del rotore.

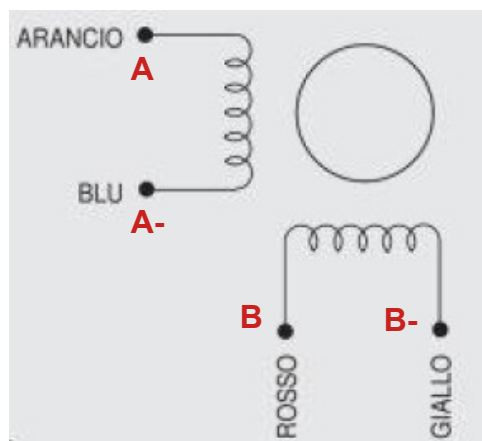
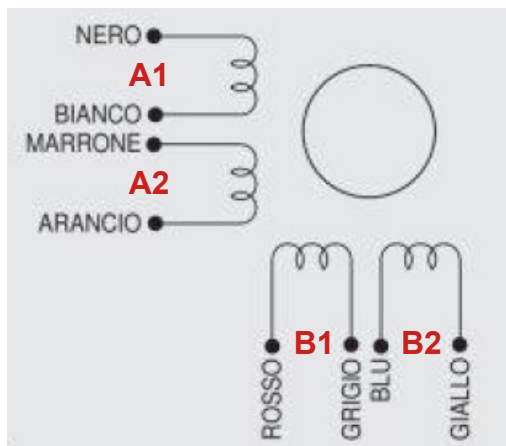
Per meglio comprendere il funzionamento consiglio la visione di questo video:

[https://www.youtube.com/watch?v=\\_X68WAvJgIY](https://www.youtube.com/watch?v=_X68WAvJgIY)



Nel pilotaggio bipolare gli avvolgimenti A1 ed A2 possono essere collegati in serie o in parallelo, come anche B1 e B2 per ottenere due soli avvolgimenti.

I terminali degli avvolgimenti sono in genere indicati con le lettere A, A-, B e B-, in questo caso il collegamento viene definito bipolare a differenza dell'unipolare raramente utilizzato.



La sequenza di alimentazione delle fasi consente diversi tipi di gestione del passo, vediamo qualche tipo:

#### **PASSO PIENO – WAVEMODE 200 PASSI PER GIRO MOTORE**

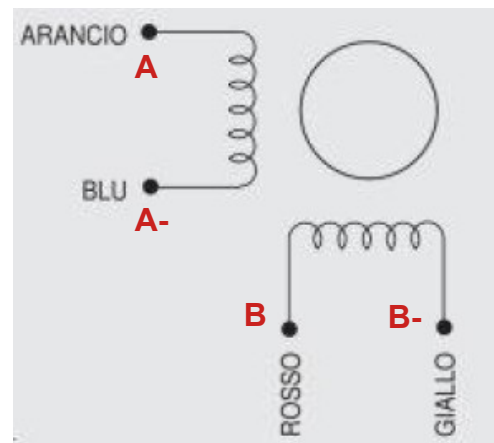
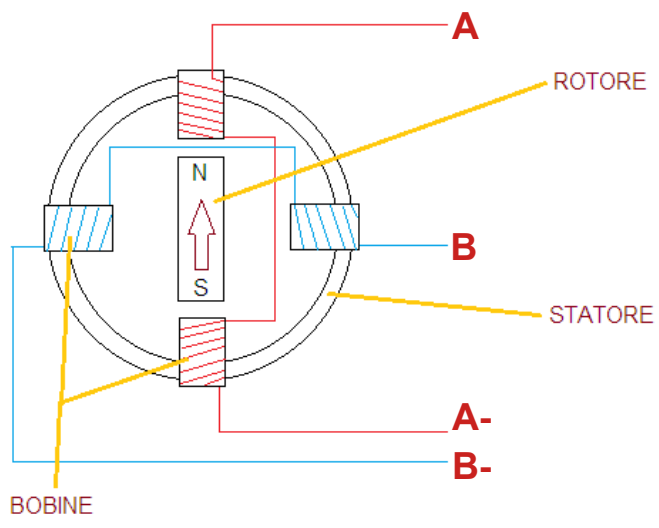
ANGOLO	FASE A	FASE A-	FASE B	FASE B-
1,8°	+	-		
3,6°			+	-
5,4°	-	+		
7,2°			-	+

#### **PASSO PIENO – TWO PHASE ON 200 PASSI PER GIRO MOTORE**

ANGOLO	FASE A	FASE A-	FASE B	FASE B-
1,8°	+	-	+	-
3,6°	-	+	+	-
5,4°	-	+	-	+
7,2°	+	-	-	+

### MEZZO PASSO 400 PASSI PER GIRO MOTORE

ANGOLO	FASE A	FASE A-	FASE B	FASE B-
0,9°	+	-		
1,8°	+	-	+	-
2,7°			+	-
3,6°	-	+	+	-
4,5°*	-	+		
5,4°	-	+	-	+
6,3°			-	+
7,2°	+	-	-	+



#### **QUARTO DI PASSO 800 PASSI PER GIRO MOTORE**

ANGOLO	FASE A	FASE A-	FASE B	FASE B-
0,45°	+	-		
0,9°	<b>+0,924</b>	-	<b>+0,383</b>	-
1,35°	<b>+0,707</b>	-	<b>+0,707</b>	-
1,8°	<b>+0,383</b>	-	<b>+0,924</b>	-
2,25°			+	-
2,7°	-	<b>+0,383</b>	<b>+0,924</b>	-
3,15°	-	<b>+0,707</b>	<b>+0,707</b>	-
3,6°	-	<b>+0,924</b>	<b>+0,383</b>	-
4,05°	-	+		
4,5°	-	<b>+0,924</b>	-	<b>+0,383</b>
4,95°	-	<b>+0,707</b>	-	<b>+0,707</b>
5,4°	-	<b>+0,383</b>	-	<b>+0,924</b>
5,85°			-	+
6,3°	<b>+0,383</b>	-	-	<b>+0,924</b>
6,75°	<b>+0,707</b>	-	-	<b>+0,707</b>
7,2°	<b>+0,924</b>	-	-	<b>+0,383</b>

*Dalla sequenza di alimentazione delle fasi, dipende l'angolo effettuato dal motore ad ogni passo. Con i moderni azionamenti si riesce a raggiungere anche 4000 passi per giro, consentendo così una maggiore precisione dello spostamento con una minore rumorosità.*

**In termini di potenza erogata dal motore il migliore compromesso lo abbiamo però con il funzionamento a 400 ed 800 impulsi giro.**

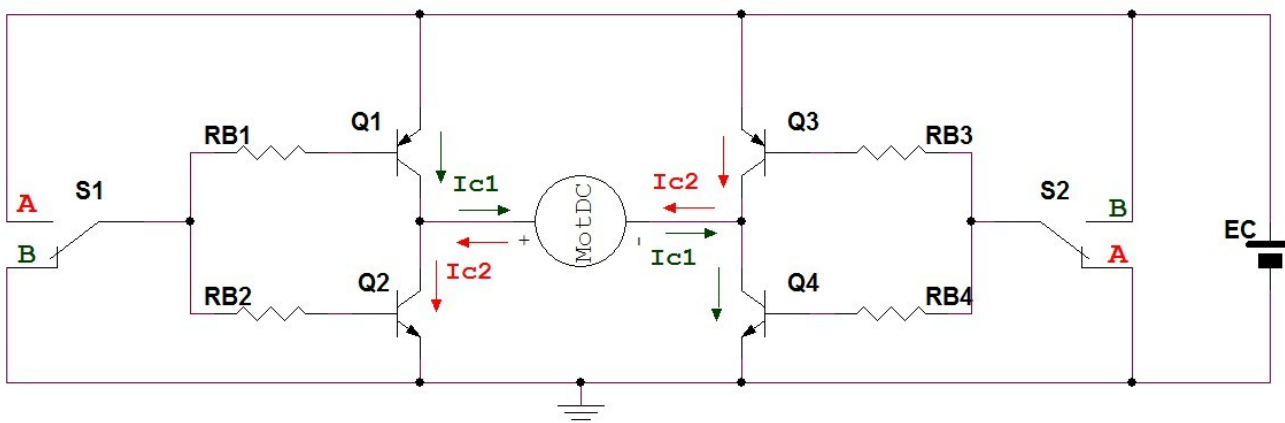
*Nel motore visto sopra è stato utilizzato il collegamento bipolare*

## FUNZIONAMENTO DELL'AZIONAMENTO

Per pilotare un motore passo-passo, è indispensabile un circuito di potenza ed un circuito di controllo che esegue la sequenza e gestisce la direzione di rotazione.

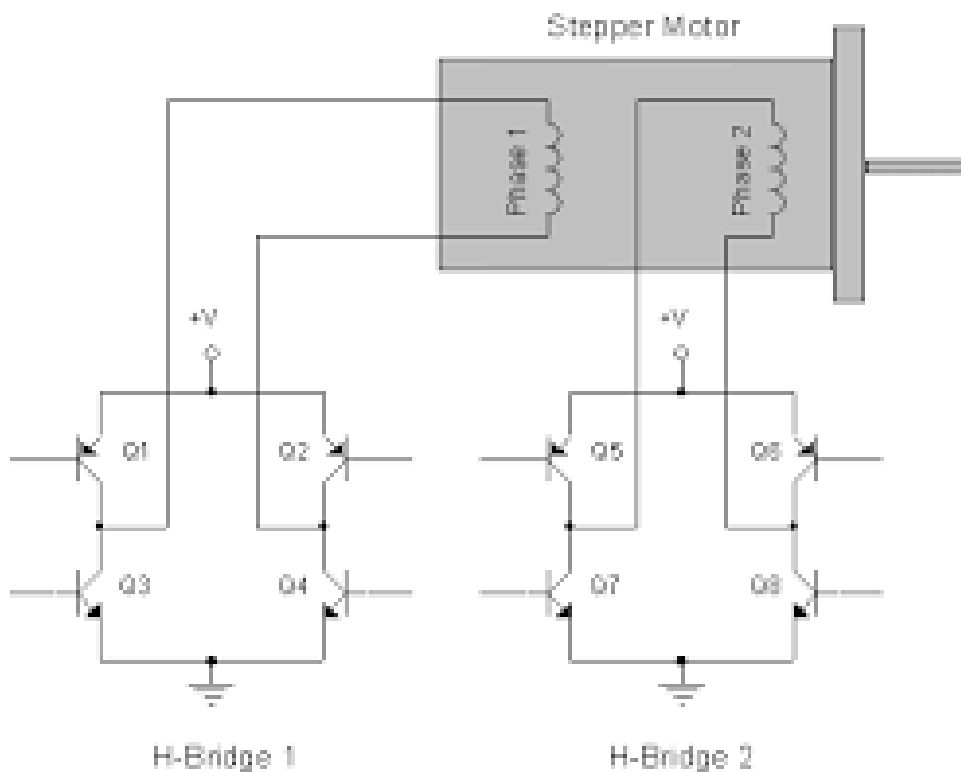
Per quanto riguarda la parte di potenza il collegamento utilizzato è quello del doppio ponte H.

Questo tipo di collegamento prevede 4 transistor (in genere Mosfet) collegati in modo da far scorrere la corrente nelle due possibili direzioni.



Nella figura sopra un esempio di come possa scorrere la corrente Ic1 verde o Ic2 rossa nelle due direzioni.

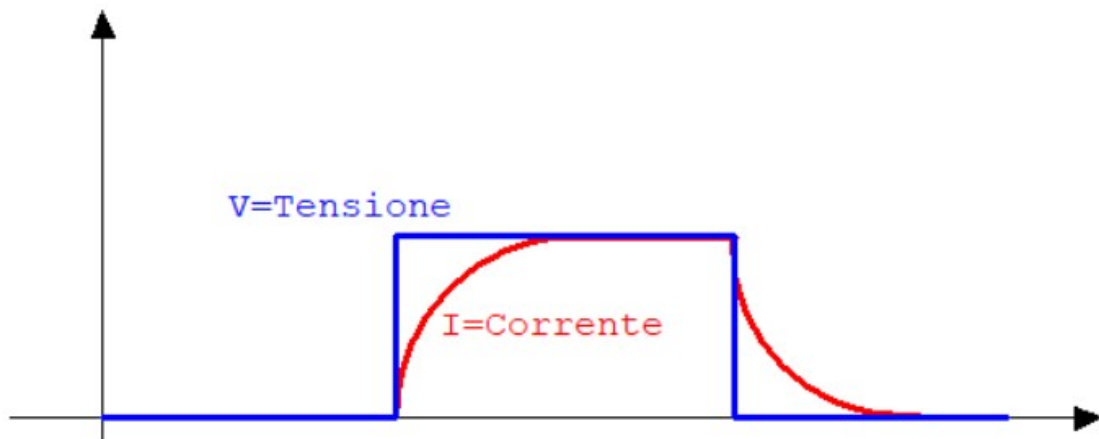
Con due circuiti come quello sopra si possono pilotare entrambi gli avvolgimenti del motore.



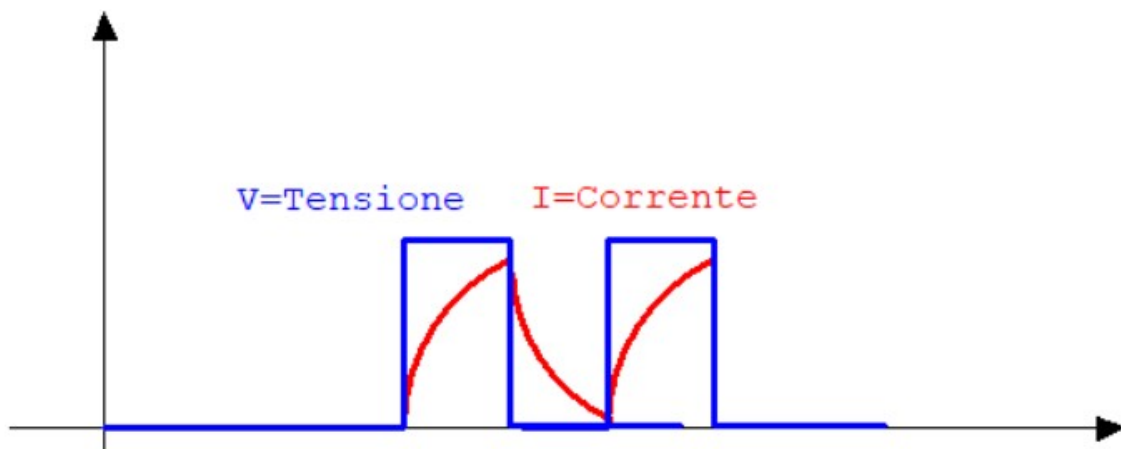
Un altro aspetto fondamentale gestito dagli azionamenti, è il controllo della corrente che scorre nelle fasi.

Per controllare la corrente che scorre nell'avvolgimento, si utilizza la tecnica chiamata chopper che utilizza un segnale PWM (Pulse Width Modulation) che consiste nella generazione di un'onda quadra variabile controllata da un feedback sulla corrente che scorre nell'avvolgimento.

Cerchiamo di essere più chiari, se alimentiamo un avvolgimento con la sua tensione otteniamo che la corrente non passa istantaneamente, ma cresce seguendo il seguente andamento:

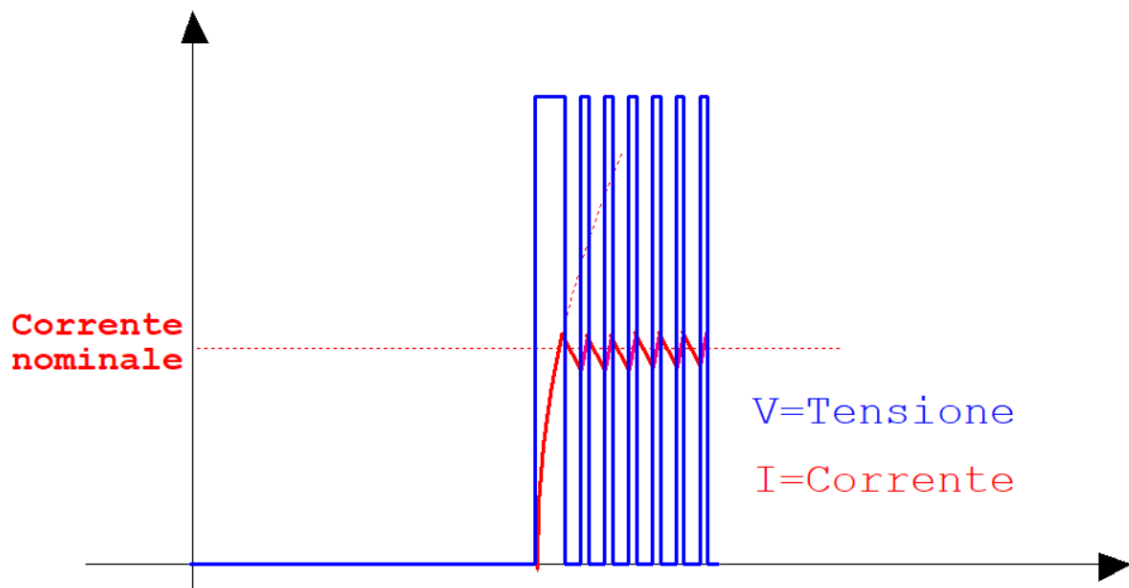


Essendo il campo magnetico prodotto dall'avvolgimento dipendente dalla corrente, e dovendo il motore attivare rapidamente gli avvolgimenti quando deve raggiungere velocità elevate, avremo che la corrente potrebbe non fare in tempo a raggiungere il valore massimo e di conseguenza non riusciremmo a sfruttare la coppia del motore ad alte velocità.



Essendo l'avvolgimento di fatto un induttore, applicando invece una tensione molto maggiore avremo una crescita della corrente molto più rapida, ma in questo caso dovremo controllare il valore della corrente in modo da non fargli superare il valore massimo che può scorrere nell'avvolgimento.

Questo può avvenire controllando la tensione che scorre (in genere mediante una resistenza in serie all'avvolgimento) e chiudere ed aprire i transistor del ponte continuamente ottenendo di fatto questa situazione:



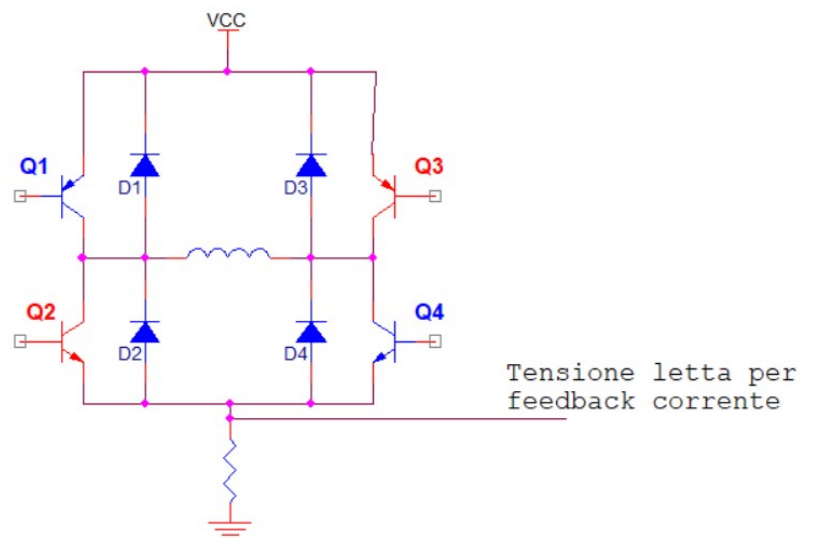
Il segnale impulsivo viene modulato in larghezza (PWM) per mantenere la corrente al valore nominale, ed i transistor dei ponti H, si aprono e chiudono continuamente.

La frequenza di questi impulsi è ovviamente maggiore a quella fornita all'accensione ed allo spegnimento di ogni fase che determina il movimento, arrivando anche a 200kHz.

La generazione di questa frequenza, può causare dei disturbi sulle schede elettroniche vicine al motore o ai cavi, per questo è buona norma utilizzare dei cavi schermati.

Per leggere la corrente che scorre sull'avvolgimento la resistenza viene collegata in genere nel modo indicato in figura.

I 4 diodi aggiunti nello schema sono dei diodi di protezione per far scaricare l'energia accumulata dall'avvolgimento ad ogni spegnimento.



## INGRESSI DI CONTROLLO ED USCITE

Quanto visto sopra è relativo alla parte di uscita dove le tensioni e le correnti in gioco sono più elevate. In ingresso di un azionamento invece ci sono dei segnali digitali (0-5V) pilotati con bassissime correnti.

Ad esempio nell'azionamento open frame (senza contenitore) della ditta RTA in figura, abbiamo i segnali di ingresso e di uscita a disposizione sulle due morsettiere.



*Estrapolando la parte relativa al collegamento dal data-sheet abbiamo la seguente situazione, che è abbastanza comune in tutti gli altri azionamenti.*

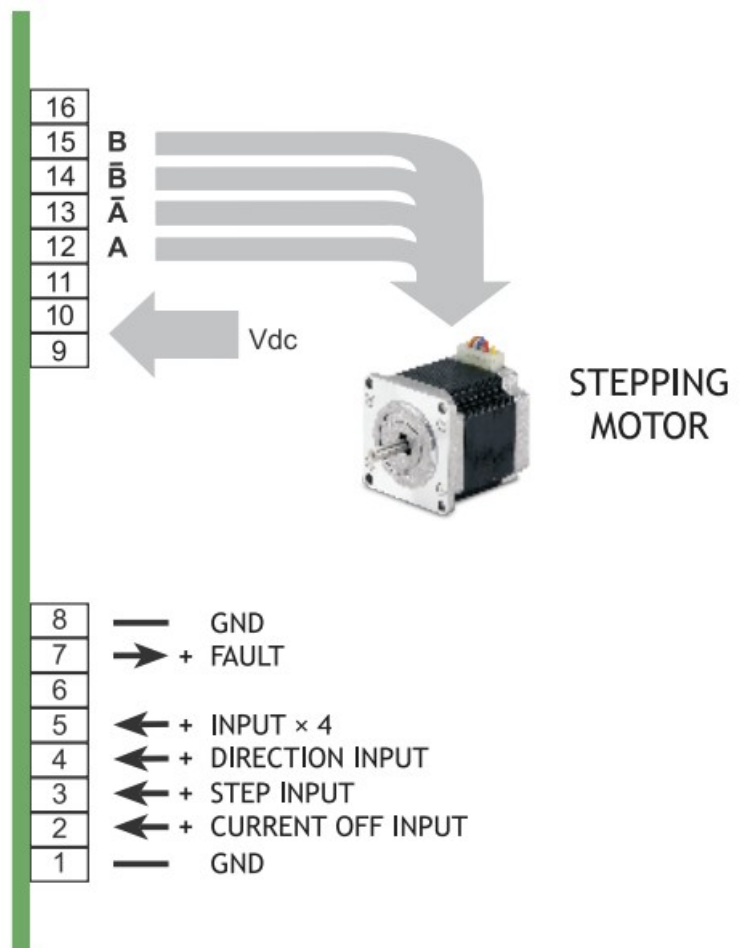
*La VDC è la tensione di potenza che in questo specifico caso può variare da 24 a 48 Volt.*

*Come detto prima è preferibile utilizzare la più alta tensione possibile cioè 48V in modo da avere una potenza maggiore.*

*Le 4 fasi vanno collegate secondo le indicazioni del motore, ed un eventuale inversione tra A ed A- o tra B e B- provoca l'inversione della*

*direzione in quanto gli avvolgimenti sarebbero percorsi dalla corrente nel senso opposto.*

*Si possono anche scambiare le due fasi A con le due fasi B, l'importante è **non collegare mai le fasi in maniera mista**, ad esempio con la sequenza A, B, A- e B-.*



Per quanto riguarda la morsettiera di ingresso troviamo invece i 3 segnali fondamentali per la gestione del movimento e cioè:

- **CURRENT OFF INPUT** anche detto **ENABLE**. Questo segnale serve per togliere la corrente al motore lasciandolo libero, in caso contrario il motore sarebbe bloccato in una posizione in quanto almeno una delle fasi viene percorsa da corrente.
- **STEP INPUT**. Su questo terminale va inviata un onda quadra 0-5V comunemente chiamata "treno di impulsi" ed ad ogni fronte di salita di questa onda quadra il motore farà un passo.



- **DIRECTION INPUT**. Con questo terminale possiamo controllare la direzione di rotazione del motore, dando un valore pari a 0 o pari a 5Volt otterremo la rotazione nei due sensi orario ed antiorario. Come detto prima il senso dipende anche da come sono state collegate le fasi perciò si potrebbe avere 0=Orario e 5V=Antiorario o viceversa.

Sui vecchi azionamenti era presente anche un segnale chiamato **RWC** Riduzione di corrente, il quale consentiva di abbassare la corrente al 60% del suo valore nominale quando il motore è fermo, con il motore fermo la coppia di tenuta è elevata e non occorre sollecitare l'avvolgimento con la corrente nominale. Nei moderni azionamenti la funzione **RWC** è automatica e può essere abilitata o disabilitata mediante dei dip-switch.

### **COME GESTIRE UN MOTORE PASSO PASSO**

Abbiamo visto che per far muovere un motore passo-passo è sufficiente inviare un segnale ad onda quadra, ma dobbiamo fare attenzione alle seguenti indicazioni:

- Un motore passo-passo, non può partire istantaneamente alla velocità massima, ma deve partire da una velocità di circa 1 giro al secondo per poi aumentare gradualmente con una rampa di frequenza.
- Durante la rampa di frequenza, sono tollerate in genere variazioni dell'ordine della frequenza di start/stop. Ad esempio un motore gestito a mezzo passo (400 impulsi giro) può partire con una frequenza di 400Hz ed incrementare la sua frequenza di massimo 400Hz per volta, ovviamente un valore minore è sempre consigliabile.
- Anche lo stop non può essere istantaneo, il motore deve rallentare con una rampa di discesa che lo riporti alla frequenza di start/stop, in corrispondenza della quale può essere fermato.
- L'inversione di direzione non può essere istantanea, il motore si deve fermare e poi ripartire nella direzione opposta.